

## BAB III

### PERANCANGAN KENDALI Pengereman *REGENERATIVE* PADA MOTOR *SWITCHED RELUCTANCE*

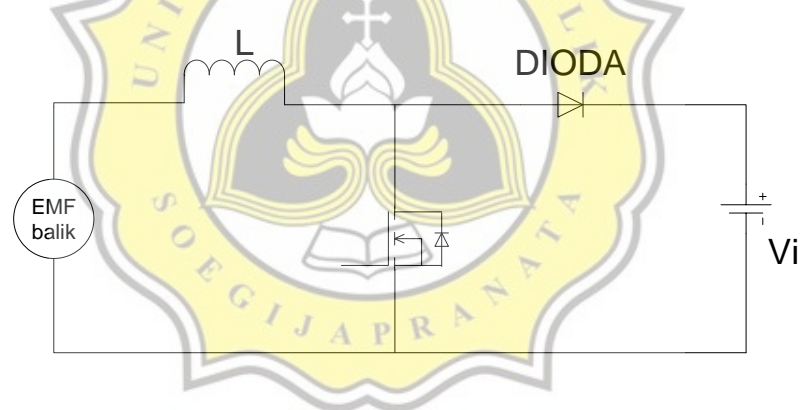
#### 3.1 Pendahuluan

Pada bab ini dijelaskan langkah perancangan sistem pengereman *regenerative* dengan metode *multiple pulse* menggunakan mikrokontroler dsPIC30f4012. Fungsi dari komponen yang digunakan juga akan dijelaskan pada bab ini. Pengereman *regenerative* diimplementasikan dengan mesin *switched reluctance* yang disambungkan dengan motor DC. Pada saat motor berputar, didapatkan data untuk penentuan sudut *on* dan *off* pada mode *regenerative*. Pengambilan data sudut eksitasi menggunakan sebuah kaset yang disensor oleh SM534.

Data dari sensor diolah di dalam mikrokontroler untuk menentukan sudut eksitasi pada stator dan sudut *regenerative*. Untuk menghasilkan tegangan yang lebih tinggi maka digunakan *boost chopper* sehingga arus yang dihasilkan dapat digunakan untuk pengisian ke baterai. Data dari mikro digunakan untuk mengendalikan pensaklaran pada konverter *asymmetric* melalui *buffer* dan TLP 250. Hasil pengisian ke baterai dapat dilihat dari gelombang arus yang disensor menggunakan *current transducer* tipe LEM HX-10P dan ditampilkan pada *oscilloscope*.

### 3.2 Pengereman *Regenerative* menggunakan Metode *Multiple Pulse*

Pengereman *regenerative* atau sering disebut *regenerative braking* adalah metode pengereman yang mengubah energi yang terbuang menjadi energi yang dapat digunakan untuk pengisian pada baterai. Terdapat dua metode pengereman menggunakan mesin *switched reluctance* yaitu metode *single pulse* untuk kecepatan tinggi dan metode *multiple pulse* untuk kecepatan rendah. Dalam aplikasinya pengereman *regenerative* ini dapat diterapkan pada kendaraan listrik. Pengereman ini menggunakan *boost chopper* untuk menaikkan tegangan keluaran sehingga arus dapat mengalir ke baterai. Rangkaian *boost chopper* disajikan pada Gambar 3.1.



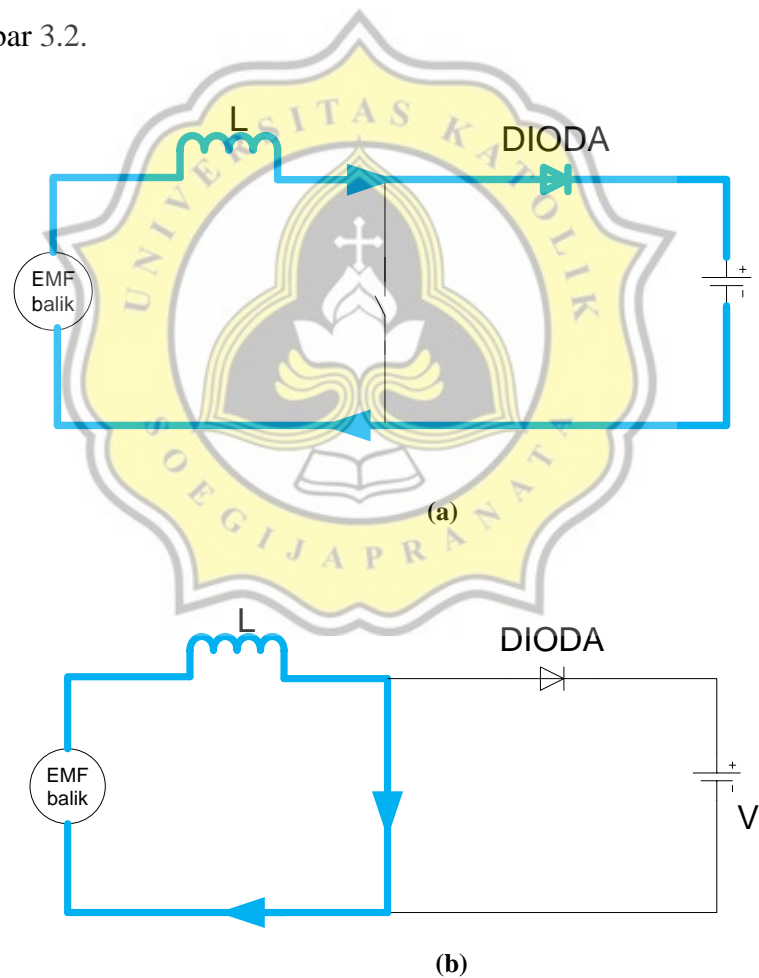
Gambar-3. 1 Rangkaian ekuivalen *boost chopper*

#### Prinsip Kerja dan Mode Operasi

Mesin *switched reluctance* yang dioperasikan sebagai generator menghasilkan BEMF pada statornya. Nilai BEMF pada mesin *switched reluctance* dipengaruhi dari kecepatan putar motor, semakin tinggi kecepatan putar motor maka semakin tinggi nilai BEMF. Sudut eksitasi juga berpengaruh pada nilai

keluaran yang dihasilkan. Proses eksitasi sudut yang tepat dapat meningkatkan nilai BEMF saat mode generator.

Tegangan keluaran pada stator selalu lebih kecil dari tegangan sumber sehingga proses pengisian ke baterai tidak dapat dilakukan. Namun dengan menggunakan *boost chopper* yang dapat diadopsi dari rangkaian konverter *asymmetric*, tegangan pada sisi keluaran dapat ditingkatkan sehingga pengisian arus ke baterai dapat terjadi. Mode operasi *boost chopper* saat *on* dan *off* disajikan pada gambar 3.2.



**Gambar-3.2 Rangkaian *boost converter* saklar *off* (a) dan rangkaian *boost converter* saklar *on* (b)**

Gambar (b) ditunjukkan mode operasi ketika saklar *on* dan dioda menjadi *off* sehingga arus mengalir melalui saklar. Pada proses tersebut induktor atau lilitan pada bagian stator akan menyimpan arus. Gambar (a) ditunjukkan saklar menjadi terbuka sehingga arus akan mengalir melalui dioda. Arus pada induktor menjadi terbalik polaritasnya sehingga arus yang mengalir pada beban adalah penjumlahan dari arus induktor dan sumber. Tegangan keluaran dapat diatur berdasarkan nilai *duty cyclenya*, semakin besar *duty cycle* maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan. Dengan melihat mode operasi pada Gambar 3.3 ,rangkaian konverter *asymmetric* dapat berfungsi juga sebagai *boost chopper*. Berikut fungsi alih dari *boost chopper*:

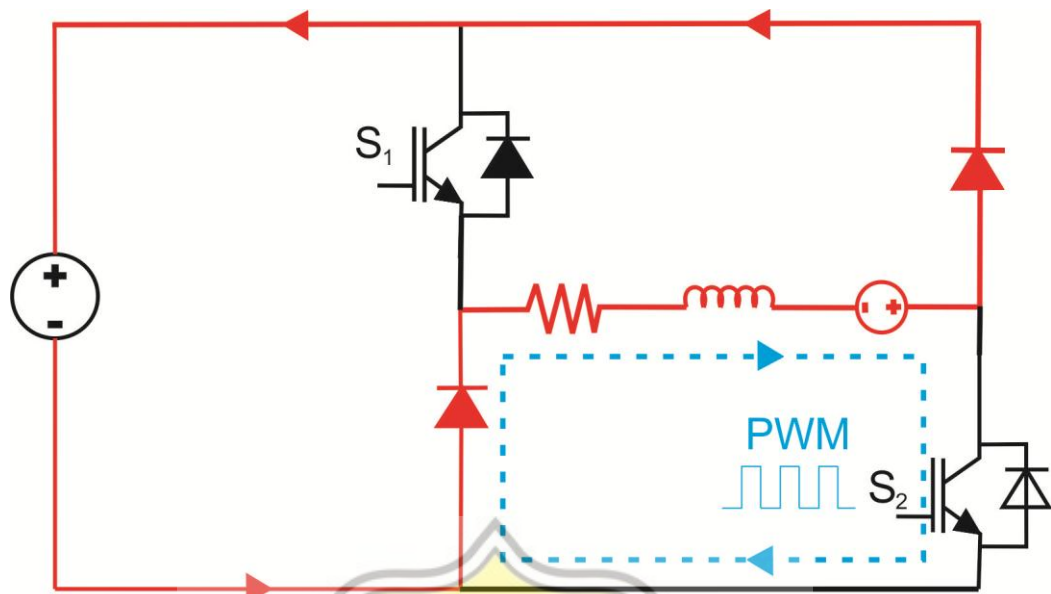
$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1-d} \quad (3-1)$$

di mana:

$V_o$  = adalah tegangan keluaran

$V_i$  = adalah tegangan batere

$d$  = siklus kerja



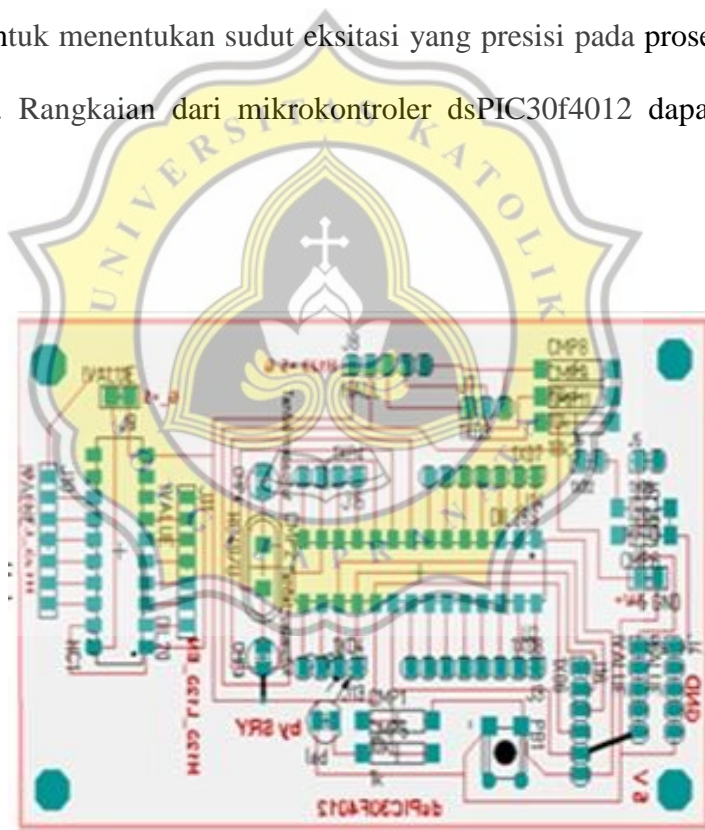
Gambar-3.3 Aliran arus saat pengereman *regenerative*

#### ***Back Electro Motive Force (BEMF)***

Tegangan balik atau BEMF dihasilkan dari stator yang terinduksi oleh rotor saat menjadi magnet remanen. Pemanfaatan tegangan balik pada motor *switched reluctance* dapat diterapkan saat pengereman *regenerative*. Eksitasi sudut yang tepat dapat mengurangi unjuk kerja motor sekaligus dapat menjadikan motor *switched reluctance* sebagai generator. BEMF yang dihasilkan dapat digunakan untuk pengisian arus ke baterai pada SRM dengan memanfaatkan *boost chopper* pada konverter *asymmetric*.

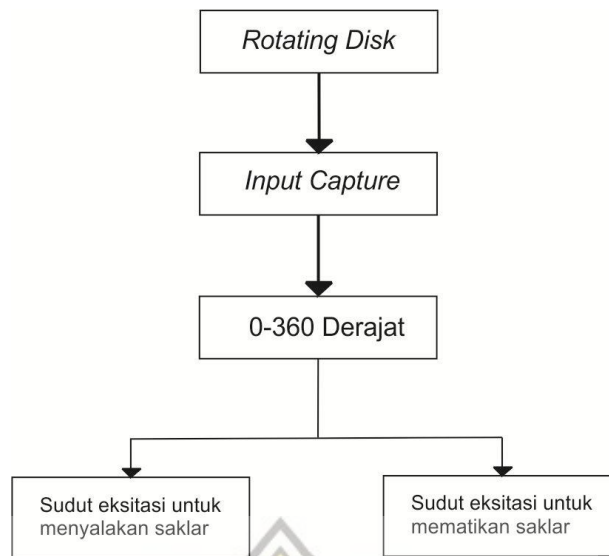
### 3.3 Blok Kendali

Blok kendali yang digunakan pada percobaan ini adalah blok kendali berbasis digital dengan menggunakan *Digital Signal Controller* (DSC) tipe dsPIC30F4012. DSC membutuhkan kapasitor serta *crystal* untuk membangkitkan *clock* eksternal diluar DSC itu sendiri. dsPIC30f4012 merupakan DSC 16-bit dan dilengkapi dengan kemampuan eksekusi instruksi sebanyak 30 MIPS(Mega Instruction per Second). Terdapat juga fitur *Input Capture* sehingga dapat digunakan untuk menentukan sudut eksitasi yang presisi pada proses pengereman *regenerative*. Rangkaian dari mikrokontroler dsPIC30f4012 dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar-3.4 Rangkaian mikrokontroler dsPIC30F4012



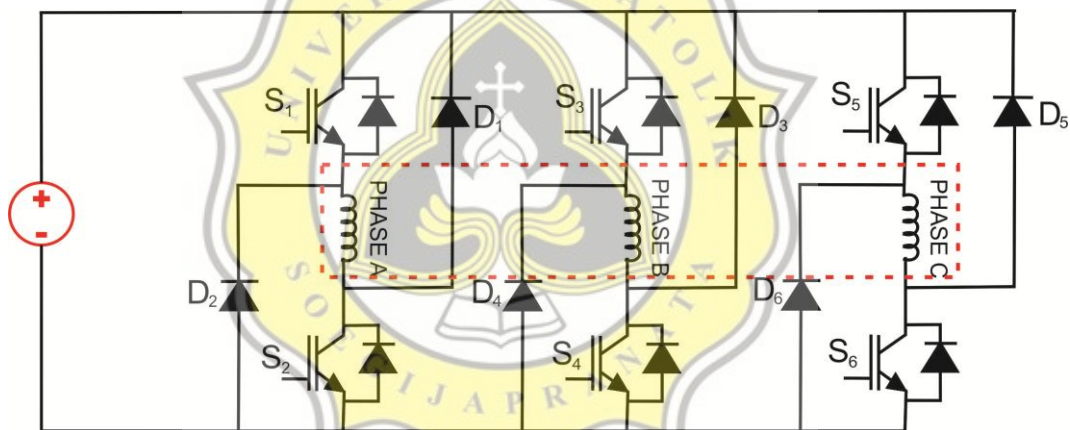


**Gambar-3.5 Flow chart pengereman regenerative**

Gambar-3.5 dijelaskan alur sistem kerja dari pengereman *regenerative* berbasis *Digital Signal Controller* (DSC) tipe dsPIC30F4012. Langkah pertama yaitu motor *switched reluctance* diputar menggunakan motor DC dengan tegangan 30 Volt DC. Kemudian DSC mendapat sinyal masukan dari sensor SM534 yang diolah menggunakan fasilitas *Input Capture*. Data dari sensor SM534 diproses oleh DSC kemudian diubah menjadi bilangan dengan tipe data *integer*. Proses tersebut digunakan dalam menentukan derajat untuk kondisi *on* dan derajat untuk kondisi *off*. Terdapat dua kondisi pada proses pensaklaran pengereman *regenerative*. Kondisi pertama yaitu eksitasi pada stator sehingga rotor menjadi magnet *remanent*. Kondisi kedua adalah kondisi *regenerative* menggunakan *boost chopper* memanfaatkan BEMF pada stator. Kedua kondisi tersebut dapat diatur menggunakan metode *Input Capture*.

### 3.4 Konverter *Asymmetric*

Ada beberapa jenis konverter yang dapat diaplikasikan pada motor *Switched Reluctance* yaitu *asymmetric*, *C-Dump*, *R-Dump* dan  $N+1$ . Namun pada Tugas Akhir ini penulis menggunakan konverter *asymmetric* karena mendukung untuk pengereman *regenerative*. Konverter *asymmetric* yang digunakan terdiri dari 12 buah MOSFET dengan enam buah MOSFET digunakan sebagai saklar dan enam buah MOSFET digunakan sebagai dioda cepat. Pensaklaran pada MOSFET dikendalikan menggunakan referensi dari *Input Capture* pada mikrokontroler.

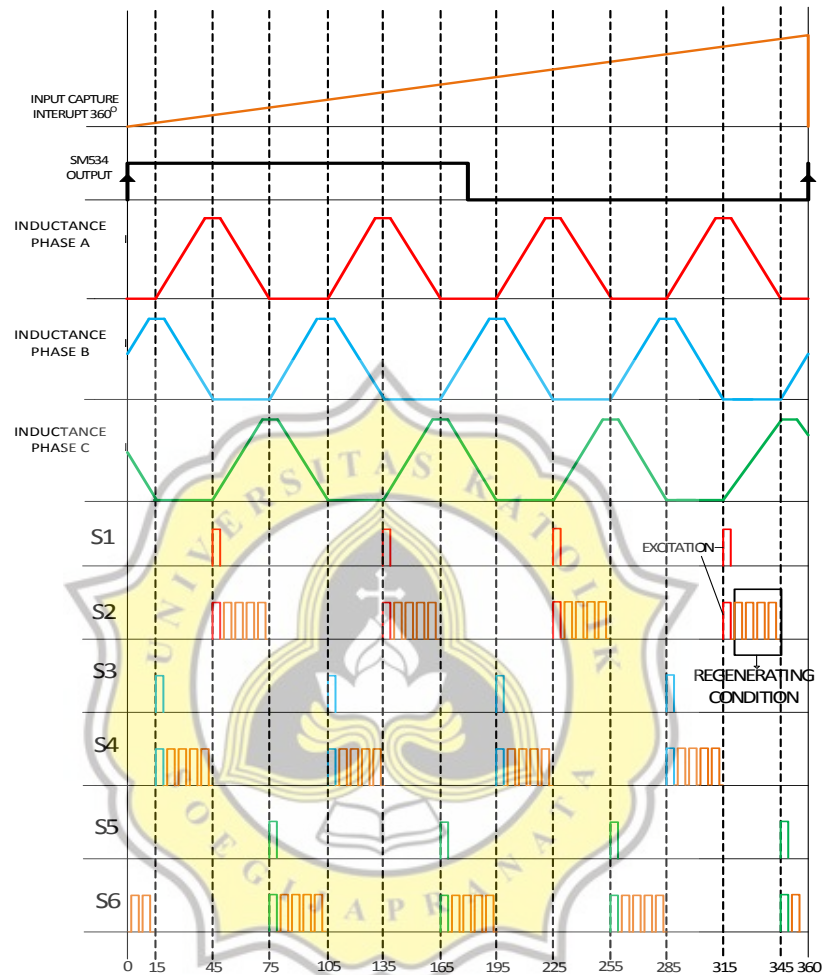


Gambar-3.6 Konverter *asymmetric*

Dengan mengasumsikan satu putaran adalah  $360^\circ$  mekanik maka pada pembacaan *Input Capture* dapat diubah ke dalam nilai integer menjadi  $360^\circ$  elektrik. Sehingga dapat ditentukan derajat pensaklaran pada tiap fasa saat proses *regenerative*. Gambar-3.7 ditunjukan pola pensaklaran tiap fasa berdasarkan nilai induktansi. Posisi rotor dapat dilihat dari nilai induktansi atau dari arus yang mengalir pada fasa. Di saat posisi sejajar maka induktansi berada posisi paling



maksimum, namun apabila posisi rotor sudah meninggalkan posisi sejajar maka nilai induktansi cenderung bernilai minimum.

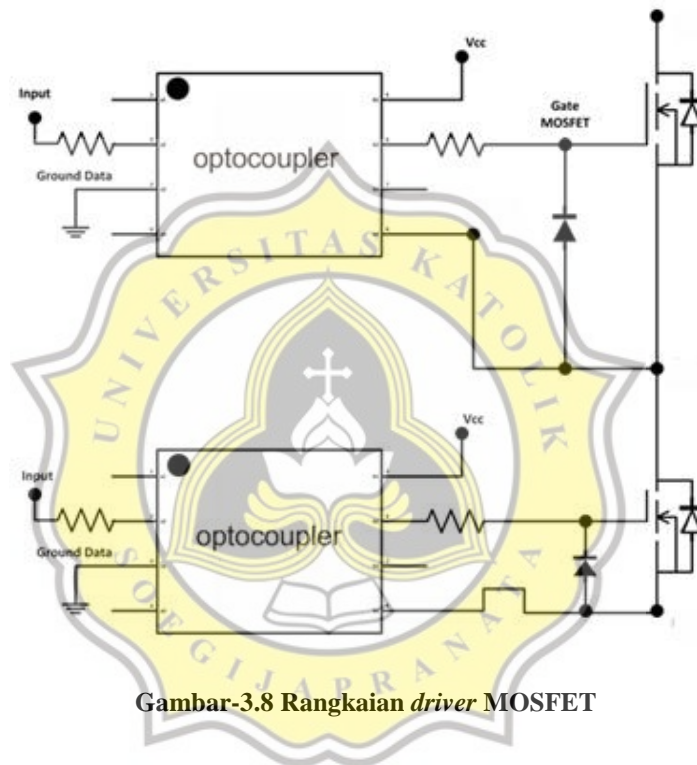


**Gambar-3.7 Pola pesaklaran dengan referensi dari induktansi**

### 3.5 Rangkaian Driver TLP 250

Rangkaian kontrol yang digunakan untuk pengereman *regenerative* adalah TLP 250 sebagai *optocoupler*. TLP 250 digunakan sebagai isolator antara rangkaian daya dan rangkaian kontrol, jika terjadi *trouble* pada rangkaian daya maka tidak akan berimbas pada rangkaian kontrol dan begitu juga sebaliknya. Rangkaian ini juga berfungsi sebagai pengirim sinyal MLPS (*Multipleprotocol*

*Label Switching*). Sinyal input yang bernilai 5 Volt dikuatkan menjadi 12 Volt pada outputnya, hal ini bertujuan untuk mengaktifkan MOSFET yang mempunyai spesifikasi sinyal *gate* sebesar 12 Volt. Fungsi lain dari TLP 250 yaitu sebagai pengunci tegangan agar tidak *drop* sehingga proses pensaklaran pada MOSFET tidak terganggu.



**Gambar-3.8 Rangkaian *driver* MOSFET**

Keluaran pada TLP 250 dipasang dioda *zener* 12 Volt secara paralel agar tegangan stabil serta resistor sebagai pembatas arus. Pada tugas akhir ini penulis menggunakan enam buah TLP 250 sesuai dengan MOSFET yang digunakan sebagai saklar.

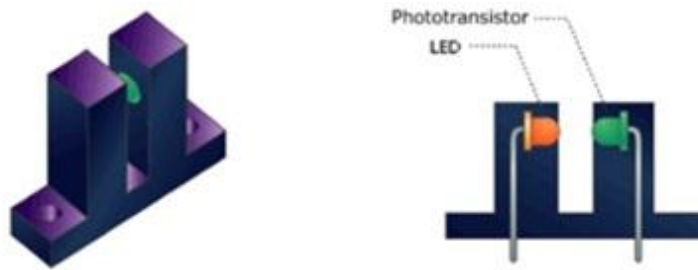
### 3.6 Sensor SM534

Sensor SM534 digunakan untuk referensi penentuan sudut eksitasi pada proses *regenerative*. Dalam penggunaan pada motor *switched reluctance*, sensor ini dipasang di luar dari bagian motor untuk mendeksi kaset yang berputar. Data dari sensor SM534 diolah pada mikrokontroler untuk menentukan fasa yang akan dieksitasi.



Gambar-3.9 Sensor SM534

Konstruksi sensor SM534 terdiri dari dua sensor *infrared* yang berfungsi sebagai *transmitter* atau pengirim dan *receiver* atau penerima berbentuk LED yang kecil. Pada Gambar 3.10 terdapat dua LED yaitu warna jingga dan hijau, LED warna jingga berfungsi sebagai pemancar cahaya sedangkan LED hijau sebagai penerima cahaya. Prinsip kerja dari sensor tipe ini adalah saat tidak ada objek yang menghalangi antara *transmitter* dan *receiver* pada *port* keluaran digital, sinyal keluaran sensor bernilai 5 Volt. Sedangkan pada saat ada objek yang menghalangi antara *transmitter* dan *receiver*, sinyal keluaran bernilai 0 Volt.



**Gambar-3.10 Sistem kerja SM534**

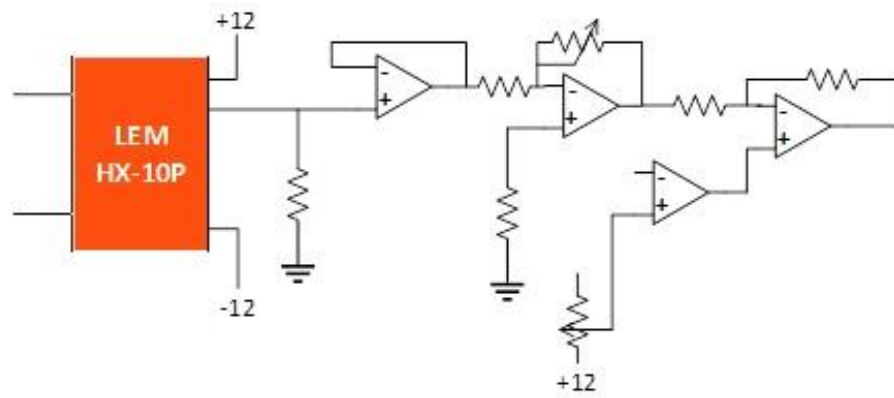
**Tabel-3. 1 Pin konfigurasi SM534**

Nama	Nomor PIN	Fungsi
VCC	1	Sumber Tegangan
GND	2	<i>Ground</i>
DO	3	Sinyal Keluaran Digital
AO	4	Sinyal Keluaran Analog

### **3.7 Rangkaian Sensor Arus LEM HX-10P**

Sensor yang digunakan pada pengujian ini adalah sensor tipe LEM HX-10P. Sensor ini dipasang secara seri terhadap beban. LEM HX-10P digunakan untuk membuktikan kesesuaian antara teori dan hasil yang sesungguhnya, serta dapat dilihat apakah bentuk gelombang keluaran arus sesuai dengan yang diharapkan. Sinyal keluaran dari sensor dikuatkan oleh *Op Amp* sehingga hasil keluaran sesuai dengan rasio yang diinginkan.

Cara kerja dari sensor arus ini adalah dengan mengkonversi nilai arus menjadi nilai tegangan sehingga dapat ditampilkan pada *oscilloscope*. Gambar 3.11 disajikan skema rangkaian pada sensor arus.



**Gambar-3.11 Skema rangkaian sensor arus**

